Ueber den Einfluss der Luft auf den Widerstand des Quecksilbers.

Inaugural-Dissertation

der

mathematischen und naturwissenschaftlichen Facultät

der

Kaiser Wilhelms-Universität Strassburg

zur

Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt

von

Martin Laas

aus Strassburg.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

1892

Sonder-Abdruck aus der „Zeitschrift für Instrumentenkunde“ 1892, August.
Verlag von Julius Springer, Berlin N.

Nachdruck verboten.

Ueber den Einfluss der Luft auf den Widerstand des Quecksilbers.

Von
M. Laas in Dresden.

Einleitung.

Seitdem im Jahre 1881 das *„legale“ Ohm* im Anschluss an die Siemens'sche Quecksilbereinheit definirt worden ist, gelangte unter Anderem auch die Frage zu erhöhter Wichtigkeit, ob die Luft im Quecksilber oder an der Wand des dasselbe aufnehmenden Gefässes irgend welchen merkbaren Einfluss auf den Widerstand des Quecksilbers ausübt.

Es sind deshalb von mehreren Herstellern des *Ohms* darüber Untersuchungen angestellt worden, über welche weiter unten referirt werden wird; Andere dagegen, z. B. G. Wiedemann[1]), gingen auf die Frage nicht näher ein, sondern zogen vor, um jeden Einfluss der Luft auszuschliessen, gewisse Vorsichtsmaassregeln bei der Einfüllung des Quecksilbers anzuwenden, die zum Theil sehr umständlich ausfallen. In neuerer Zeit scheint man sich der Ansicht zuzuneigen, als ob von einem störenden Einfluss der Luft nichts zu bemerken wäre; wenigstens verzichten manche neuere *Ohm*-Hersteller auf jene Vorsichtsmaassregeln.

Doch ist bis jetzt noch nirgend eine Untersuchung angestellt worden, die diese Ansicht zuverlässig beweist; im Gegentheil, es liegen Beobachtungen vor, die dieselbe in Frage stellen.

Ich will dies an der Hand der vorliegenden Litteratur näher begründen, um dann auf die von mir in der Sache angestellten Versuche einzugehen, die bestimmt waren, die Frage zu entscheiden.

A. Mögliche Einflüsse und Fehlerquellen.

Bevor ich auf die Litteratur im Einzelnen eingehe, will ich die Punkte feststellen, die bei dieser Untersuchung wesentlich in Betracht kommen.

Wenn sich eine Verschiedenheit im Widerstande einer in einer Glasröhre befindlichen Quecksilbersäule zeigt, je nachdem sie im Vakuum oder unter Zutritt von Luft gefüllt ist, — ich will letztere Füllung von jetzt an der Kürze halber als „gewöhnliche“ Füllung, bezeichnen — so sind dafür folgende beiden Gründe denkbar:

1. Die Glaswände sind mit einer Luftschicht behaftet. Bei einer „gewöhnlichen“ Füllung wird dieselbe von dem durchfliessenden Quecksilber nicht abgestreift. Die adhärirende Luft verschwindet allmälig, wenn genügend lange evakuirt wird. Hierdurch wird veranlasst, dass nach einer im Vakuum vorgenommenen Füllung der Widerstand der Röhre kleiner gefunden wird als nach einer „gewöhnlichen“ Füllung. Und zwar wird für engere Röhren eine verhältnissmässig grössere Widerstandsveränderung eintreten als für weitere, wenn man voraussetzt, dass die an dem Glase haftende Luftschicht in beiden Fällen dieselbe absolute Dicke habe. Nennen wir nämlich: r den inneren Radius einer Kapillare, δ die Dicke der Luftschicht (δ klein gegen r),

so ist: der innere Querschnitt der Kapillare $= r^2\pi$,
der Querschnitt der Luftschicht $= 2r\pi\delta$.

Das Verhältniss des Querschnitts der Luftschicht zum ganzen inneren Querschnitt ist daher $= 2\delta/r$, nimmt also mit abnehmendem r zu.

---

[1]) G. Wiedemann, *Ueber die Bestimmung des Ohm. Wied. Ann.* **42.** *S. 441. (1891.)*

2. Das Quecksilber selbst enthält Luft: unter dieser Voraussetzung kann nur dann eine Verschiedenheit bei beiden Füllungen eintreten, wenn das Quecksilber im einen Fall von Luft befreit ist, was wohl durch Auskochen geschehen muss.

Beide Einflüsse müssen sich in verstärktem Maassstabe geltend machen, wenn der Druck über dem Quecksilber verringert wird. Dann kommen aber noch andere Umstände in Betracht, die Einfluss auf den Widerstand des Quecksilberfadens haben können, die aber, wie gleich zu zeigen, in Rechnung gezogen werden können.

3. Die Glasröhre steht jetzt nämlich aussen unter grösserem Druck als innen; es wird sich also ihr innerer Querschnitt, ihre Länge und demnach auch der Quecksilberwiderstand ändern. Die Grössenordnung dieser Aenderungen lässt sich berechnen. Wir nehmen näherungsweise an, die Glasröhre sei ein regulärer Hohlzylinder, der an den Mantelflächen überall dem gleichmässigen äusseren Druck p_a ausgesetzt ist, während im Innern und auf die Basisflächen der Druck 0 wirkt. Nennen wir: h die Höhe des Zylinders, r_a den äusseren Radius, r_i den inneren Radius, E den Elastizitätsmodul des Materials des Zylinders, μ das Poisson'sche Verhältniss der Querkontraktion zur Dilatation, und geht durch die Kompression h über in $h+\Delta h$, r_i in $r_i+\Delta r_i$, der Quecksilberwiderstand w in $w+\Delta w$, so ist:

$$w = k\,\frac{h}{r_i^2\pi}\,;\quad \frac{\Delta w}{w} = \frac{\Delta h}{h} - 2\,\frac{\Delta r_i}{r_i}.$$

Aus der Theorie der Elastizität ergiebt sich aber:[1])

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{2\mu p_a}{E}\,\frac{r_a^2}{r_a^2 - r_i^2}\,;\quad \frac{\Delta r_i}{r_i} = -\,\frac{2 p_a r_a^2}{E(r_a^2 - r_i^2)}\,,$$

also:

$$\frac{\Delta w}{w} = \frac{(4+2\mu)\,p_a}{E}\,\frac{r_a^2}{r_a^2 - r_i^2}.$$

Da für Widerstandsbestimmungen stets dickwandige Kapillaren genommen zu werden pflegen, kann man für unsern Fall näherungsweise setzen: $r_a^2/r_a^2 - r_i^2 = 1$.

Für unsern Fall ist ausserdem in absolutem Maass[2]) angenähert:

p_a (der Druck einer Atmosphäre) $= 10^6$ (c. g. s.)

E (der Elasticitätsmodul des Glases) $= 6 \cdot 10^{11}$ (c. g. s.)

$\mu = 1/4$.

Daher:

$$\frac{\Delta w}{w} = \frac{4{,}5 \cdot 10^6}{6 \cdot 10^{11}} = 7{,}5 \cdot 10^{-6}.$$

Aus dieser Formel ist zu sehen, dass die durch die Deformation der Kapillare hervorgerufene Widerstandsveränderung nur bei einer Genauigkeit der Widerstandsmessung von 0,001% noch eben in Betracht kommt.

4. Das Quecksilber selbst hat unter verschiedenen Drucken verschiedenen Widerstand[3]), und zwar verringert sich der Widerstand mit zunehmendem Druck.

---

[1]) Vergl. z. B. C. Bach: *Elastizität und Festigkeit*, Berlin, Julius Springer, *1889—90*, *S. 333.* Wird dort $\sigma_x = 0$ gesetzt, so erhält man statt der Formeln S. 346 für ε_1, ε_2, ε_3 andere, aus denen die obigen Gleichungen folgen; es ist nämlich $\varepsilon_1 = \Delta h/h$, $\varepsilon_2 = \zeta/z$, also für $z = r_i$: $(\varepsilon_2)_{z=r_i} = \Delta r_i/r_i$; ausserdem $\alpha = 1/E$; $m = 1/\mu$.

[2]) Everett, *Physikalische Einheiten und Konstanten*, deutsch von Chappuis u. Kreichgauer. *Leipzig 1888, S. 43.*

[3]) R. Lenz: *De l'influence exercée sur la résistance galvanique du mercure par la pression, à laquelle il est soumis. Stuttgart 1882. Beibl.* **6.** *S. 802.*

Nach den neueren sorgfältigen Untersuchungen von Barus[1]), bei denen auch auf die Deformation des Glases Rücksicht genommen ist, gilt für das Druckintervall von 10 bis 400 Atmosphären die Formel:

$$\frac{\Delta w}{w} = -3{,}0 \cdot 10^{-5} \Delta p,$$

worin w der Widerstand des Quecksilbers, p der Druck in Atmosphären.

Nimmt man an, dass diese Formel auch für das Intervall 0 bis 1 Atmosphäre anwendbar ist, so folgt, dass der Widerstand bei um eine Atmosphäre verringertem Druck um 0,003% grösser erscheinen muss als bei Atmosphärendruck.

B. Litteratur.

Ich will zunächst diejenigen Versuche besprechen, aus denen zu folgen scheint, dass kein Einfluss der Luft in messbarem Betrage existirt.

I. Von der Firma Siemens & Halske[2]) ist bei der Wiederherstellung von Normalröhren 1881 folgender Versuch angestellt worden. Man wollte durch Verringerung des Luftdrucks über dem Quecksilber nach einer „gewöhnlichen" Füllung sehen, ob die zwischen Quecksilber und Glas angenommene Luftschicht sich soviel vergrösserte, dass die dadurch hervorgerufene Widerstandsänderung messbar würde. Zu diesem Zwecke wurde eine der Normalröhren sammt den zugehörigen Elektrodengefässen in einen luftdicht verschliessbaren Rezipienten gesetzt, der zur Konstanthaltung der Temperatur halb mit Wasser gefüllt war. Die Luft wurde ausgepumpt und eingelassen und jedesmal der Widerstand bestimmt. Es konnte keine Veränderung konstatirt werden.

Die Röhre war wie die anderen mit Quecksilber so gefüllt worden, dass man zuerst das eine angesetzte Gefäss füllte und dann das Quecksilber durchlaufen liess. Es kann also angenommen werden, dass eine Luftschicht zwischen dem Glas und dem Quecksilber existirt. Hiernach hätte man eine Vergrösserung des Widerstandes bei der Verminderung des Druckes erwarten sollen. Es war den Beobachtern nicht bekannt, dass eine solche ohnedies eintreten musste, wenn auch nur in dem kleinen Betrage von 0,003% (s. o.), da das Quecksilber sich in beiden Fällen unter Drucken befand, die sich um nahezu eine Atmosphäre von einander unterschieden. Da eine Vergrösserung des Widerstandes nicht beobachtet wurde beim Evakuiren, so ergiebt sich daraus, dass jedenfalls von einem erheblichen Einfluss der Luft nicht die Rede sein kann.

II. Mascart, de Nerville und Bénoit[3]) untersuchten, ob entweder bei der vorzunehmenden Wägung des Quecksilberinhaltes oder für die Widerstandsbestimmung die Füllung im Vakuum einen Unterschied gegen die „gewöhnliche" Füllung gebe.

Für die Wägung des Inhaltes der Glasröhre war gewöhnlich das umgebogene eine Ende der Röhre in ein Gefäss voll Quecksilber getaucht und am andern Ende das Quecksilber angesaugt worden; die Länge der angesaugten Säule wurde gemessen, die Röhre entleert und das Quecksilber gewogen. Zum Unterschied

---

[1]) C. Barus: *The effect of pressure on the electrical conduction of liquids, Amer. Journ. of Sciences III.* **40.** *S. 219. 1890. Beibl.* **14.** *S. 1126.*

[2]) *Réproduction de l'unité à mercure dans l'établissement Siemens et Halske 1881/82. Berlin 1882. Beibl.* **7.** *S. 129.*

[3]) Mascart, de Nerville et Bénoit: *Résumé d'expériences sur la détermination de l'Ohm. Paris 1884. S. 65. Beibl.* **8.** *S. 719.*

davon wurde einmal das umgebogene Ende zu einer Spitze ausgezogen und zugeschmolzen, die Röhre mit der Quecksilberluftpumpe in Verbindung gebracht, und als das Vakuum erreicht war, die Spitze unter Quecksilber abgebrochen, so dass dasselbe in die Röhre stieg. Die dann gewogene Quecksilbersäule ergab für den mittleren Querschnitt der Kapillare kein abweichendes Resultat.

Für die Widerstandsmessung war die Röhre gewöhnlich im Vakuum gefüllt worden; das an dieselbe luftdicht befestigte weitere Gefäss *A* (Fig. 1) konnte durch eingeschliffene Glasstöpsel verschlossen werden, von denen der eine innen durchbohrt war und so das Gefäss einerseits an eine Luftpumpe anschloss, andererseits an ein unter Quecksilber in einem Gefäss *B* offen endigendes Rohr, welches eine vertikale Länge von mindestens 80 *cm* besass. War das Vakuum erreicht, so wurde das Quecksilbergefäss *B* weiter angefüllt, bis das Quecksilber nach *A* überfloss.

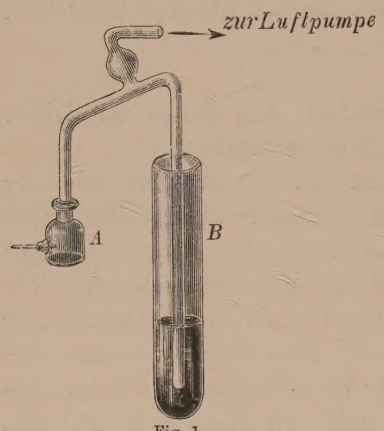

Fig. 1.

Im Gegensatz zu dieser Füllung wurde auch einmal eine „gewöhnliche“ vorgenommen; dieselbe lieferte aber ein mit den andern durchaus übereinstimmendes Resultat.

Diese Versuche beweisen, dass der Punkt 1 auf S. 267 keinen merklichen Einfluss ausübt, da die Widerstandsmessungen und Wägungen so genau angestellt wurden, wie es mit den heutigen Mitteln möglich ist. Dagegen sagen sie nichts über den Punkt 2, da das Quecksilber vor der Einfüllung nicht luftfrei gemacht wurde.

III. Letzteres wurde ausgeführt in einem Versuch von Strecker[1]). Dieser nahm ein Rohr von etwa 0,6 *qmm* innerem Querschnitt, mit angeblasenen Erweiterungen, von denen die eine durch eine Röhre mit einem Quecksilber enthaltenden Gefäss in Verbindung stand, die andere an die Quecksilberluftpumpe angeschlossen werden konnte. In den Apparat brachte er stark mit Luft geschütteltes Quecksilber, liess die Röhre voll laufen und maass den Widerstand. Nun liess er das Quecksilber wieder in das mit dem Apparat in Verbindung stehende Reservoir laufen, pumpte die Luft aus, erhitzte das Quecksilber zum Sieden, um es luftfrei zu bekommen, und schmolz schliesslich den ganzen Apparat luftfrei zu. Als dann wieder der Widerstand der mit Quecksilber gefüllten Röhre gemessen wurde, ergab sich eine geringe Vergrösserung des Widerstandes um 0,004%, welche Strecker indess Beobachtungsfehlern glaubte zuschreiben zu können.

Hier würde man nach 1. und 2. auf Seite 267 erwarten, dass der Widerstand bei der zweiten Füllung sich verringerte, während sich nach 4. wieder eine Vergrösserung um 0,003% berechnen lässt, da zum Schluss der Atmosphärendruck nicht wiederhergestellt wurde. Wenn nun thatsächlich eine Vergrösserung beobachtet wurde, in ungefähr dem angeführten Betrage, so folgt daraus, dass die Punkte 1. und 2. keinen erheblichen Einfluss üben können. Der Versuch ist also schon beweisend, kann jedoch, da nur einmalig ausgeführt, nicht dazu dienen, die Frage zu entscheiden, zumal da gegentheilige Resultate auch gefunden worden sind.

[1]) K. Strecker: *Ueber eine Reproduktion der Siemens'schen Quecksilbereinheit. Wied. Ann.* **25.** *S. 472. (1885).*

Zu diesen wollen wir jetzt übergehen.

IV. Lorenz[1]) fand, als er mit Quecksilber „gewöhnlich“ gefüllte gebogene Glasröhren von bezw. 1 *mm* und 0,1 *mm* innerem Durchmesser unter die Glocke der Luftpumpe brachte, eine kleine Abnahme des Widerstandes, welche bei der engeren Kapillare bis zu 0,076% ging, und welche auch nach Wiederherstellung des Atmosphärendruckes bestehen blieb. Er erklärt dies dadurch, dass eine thatsächlich vorhandene Luftschicht beim Evakuiren ausgesaugt wurde; dies sei dadurch ermöglicht worden, dass die Enden der Röhren vertikal standen. Bei horizontal liegenden Röhren zeigte sich eine Widerstandsveränderung nicht. Mir scheint, dass, wenn durch Abtrennung der Luftschicht eine Verringerung des Widerstandes erfolgt, dieselbe so dick sein muss, dass durch ihre Erweiterung bei sinkendem Druck eine Vergrösserung des Widerstandes messbar wäre. Als beweisend können also die Lorenz'schen Versuche nicht angesehen werden.

V. Wichtiger erscheinen die Behauptungen des letzten anzuführenden Beobachters R. Lenz. Dieser hat, was voraus bemerkt werden mag, nur mit Kapillaren von sehr kleinem Querschnitt gearbeitet; derselbe betrug nur 0,07 *qmm*[2]), was einem inneren Durchmesser von 0,3 *mm* entspricht. Bei so engen Röhren können natürlich Füllungsfehler von relativ grossem Einfluss leichter vorkommen. Lenz brauchte bei der Reinigung als letztes Lösungsmittel Alkohol, welcher in neuerer Zeit für diese Zwecke aufgegeben ist.

Lenz hat zunächst in einer kleinen Abhandlung über den Einfluss des Druckes auf den Widerstand des Quecksilbers[3]) zwei verschiedene Arten der Füllung der dabei benutzten Glasröhren angewandt. Einmal wurde das Quecksilber auf „gewöhnliche“ Weise durchgesaugt, das andere Mal die Röhre in Verbindung mit einem Weinhold'schen Quecksilberdestillirapparat gebracht, darin ein möglichst vollkommenes Vakuum hergestellt und das Quecksilber in die Widerstandsröhre hineindestillirt. Er fand, dass der Widerstand der Röhre im ersten Fall um 0,12% grösser war als im zweiten. Da die Messungen als provisorische nicht sehr genau waren, so legt Lenz auf die Zahlenangabe keinen grossen Werth.

Wichtiger ist, dass qualitativ dasselbe Resultat sich in seinen späteren Arbeiten wiederfindet, die sehr sorgfältig ausgeführt und ausführlich beschrieben sind. In beiden in Betracht kommenden Arbeiten ist das uns Interessirende allerdings nur nebenbei gefunden worden.

In der ersten Arbeit[4]) fand Lenz von 13 untersuchten, auf verschiedene Weise gereinigten Quecksilberproben nur bei einer eine merkbare Abweichung des Leitungsvermögens; und zwar war dasselbe um 0,05% zu klein. Diese Abweichung konnte nicht von metallischen Verunreinigungen herrühren, da dieselben bekanntlich[5]) alle das Leitvermögen des Quecksilbers vergrössern. Die betreffende Probe war nach der Siemens'schen Methode mit konzentrirter Schwefelsäure unter Zusatz einiger Tropfen Salpetersäure in der Wärme behandelt, dann nach Abguss

---

[1]) Lorenz: *Bestimmung der elektrischen Widerstände von Quecksilbersäulen in absolutem elektromagnetischem Maasse. Wied. Ann.* **25.** *S. 9. (1885).*

[2]) In dem Referat *Beibl.* **8.** *S. 39* steht fälschlich 0,7 *qmm*.

[3]) S. Anm. 3. S. 268.

[4]) R. Lenz. *Études électrométrologiques I. Des résistances du mercure épuré de différentes manières. St.-Pétersbourg 1883. Beibl.* **8.** *S. 39.*

[5]) Wiedemann, *Elektrizität. 3. Aufl. 1882. 1. Bd. S. 530.*

der Säure filtrirt und in die Widerstandsröhre wie die übrigen Proben eingefüllt. Die Einfüllung geschah hier dadurch, dass eines der Endgefässe, in welche die Röhre gesteckt war, bis über die Einmündung der Röhre, das andere bis etwas unter dieselbe mit Quecksilber angefüllt, dann das Quecksilber durchgesaugt, schliesslich beide Gefässe gleich hoch angefüllt wurden. Bei der besprochenen Probe schien ein Füllungsfehler ausgeschlossen, da bei drei verschiedenen Füllungen das gleiche Resultat gefunden wurde; vor der dritten Füllung war ausserdem die Röhre nochmals gereinigt und getrocknet worden. Da nun der Widerstand grösser gefunden wurde, so könnte man vermuthen, dass Säure im Quecksilber zurückgeblieben war; dieselbe konnte aber durch chemische Mittel nicht nachgewiesen werden. Ich glaube auch, dass man die Abwesenheit der Säure annehmen kann, da das Quecksilber vor dem Einfüllen zweimal durch Fliesspapier filtrirt war; ich habe bei Versuchen mit Widerstandsmessung gefunden, dass dies völlig genügend war. Wenn man nun annimmt, dass keine Säure im Quecksilber zurückgeblieben war, und dass auch kein Füllungsfehler vorlag, so muss die folgende Lenz'sche Erklärung als die einzig plausible erscheinen. Die besprochene Sorte Quecksilber war nämlich die einzige, die nicht längere Zeit im Vakuum gestanden hatte, konnte also Luft enthalten. Ein Beweis der Annahme, dass Luftgehalt den Unterschied bedingte, hätte aber gefordert, dass erstens eine Portion des besprochenen Quecksilbers im Vakuum aufbewahrt, zweitens eine beliebige andere Sorte so behandelt worden wäre, dass sie Luft aufnehmen konnte.

Es wurde auch der Versuch mit den zwei verschiedenen oben erwähnten Einfüllungsarten gemacht bei einer und derselben Sorte; doch zeigte sich nur eine geringe Verkleinerung (um 0,004%) des Widerstandes durch die Einfüllung vermittels Destillation im Vakuum, eine Verkleinerung, welche die Beobachtungsfehler nicht überstieg. Lenz glaubt daraus folgern zu können, dass es viel mehr darauf ankommt, das Quecksilber luftfrei zu machen, wie die Einfüllung selbst im Vakuum vorzunehmen. Wenn man aber den ersten Versuch nicht als beweisend anerkennt, folgt aus dem zweiten nur, dass, wie wir schon oben bestätigt fanden, Punkt 1) auf S. 267 keinen erheblichen Einfluss ausübt.

In der andern zu erwähnenden Arbeit[1]) wurden zur Bestimmung des Temperaturkoëffizienten des Quecksilbers zwischen 0° und 100° zwei Röhren verwendet, von denen die eine x mit frisch destillirtem Quecksilber durch Ansaugen auf „gewöhnliche" Weise gefüllt wurde, die andere y durch Destillation im Vakuum. Beide Röhren wurden mit zwei andern, K und N, verglichen, die während der ganzen Bestimmung auf der Temperatur 0° C gehalten wurden. Nachdem die Messungen bei 0°, 100°, 75°, 50°, 25° gemacht waren, wurden die beiden Röhren noch einmal bei 0° mit den Vergleichsröhren kontrolirt, von denen man annehmen konnte, dass sie ihren Widerstand nicht geändert hatten. Unter dieser Annahme ergab sich, dass der Widerstand von y, der durch Destillation gefüllten Röhre, unverändert geblieben war, während der Widerstand von x um 0,27% (!) abgenommen hatte. Diese Abnahme war jedenfalls einem Verlust an Luft zu verdanken, weil während der Erwärmung auf 100° einmal eine Stromunterbrechung im Quecksilber zu konstatiren war, die nur durch Ansaugen auf der einen Seite sich heben liess.

Dass der Widerstand nach dem Erwärmen sich kleiner zeigte, ist allerdings

[1]) R. Lenz et N. Restzoff, *Études électrométrologiques II. De l'influence de la température sur la résistance du mercure. St.-Pétersbourg 1884. Beibl. 8. S. 592.*

ganz analog den oben referirten Beobachtungen von Lorenz über die Abnahme des Widerstandes beim Evakuiren. Doch glaube ich, kann man auch hier aus der Thatsache, dass bei der Erwärmung sich einmal eine Unterbrechung des Stromes herausstellte, dann auch aus der verhältnissmässig bedeutenden Grösse der Widerstandsveränderung die Vermuthung begründen, dass ein Füllungsfehler vorlag.

Ein Kontrolversuch fehlt. Lenz selbst hält die Resultate nicht für beweisend und äussert am Schluss der zweiten Abhandlung die Absicht, der Frage in einer Spezialuntersuchung näher zu treten. Eine solche ist aber bis jetzt nicht erschienen.

C. Eigene Versuche.

Aus der vorstehenden Litteraturübersicht ist zu ersehen: Obwohl mit einiger Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, dass diejenigen Recht haben, die einen Einfluss der Luft im angeführten Sinne leugnen, ist doch die Sache nicht definitiv entschieden. Zur Entscheidung scheinen sich am besten Versuche von der Form zu eignen, wie sie Strecker ausgeführt hat. Ich habe deshalb bei meinen Versuchen sein Versuchsprinzip beibehalten und mir nur durch die Konstruktion des Apparates ausserdem die Möglichkeit verschafft, über dem Quecksilber beliebig zu evakuiren oder den Atmosphärendruck wiederherzustellen. Hierdurch konnte ich die Veränderung des Widerstandes messen, die bei einer Verringerung des Druckes über dem Quecksilber um etwa eine Atmosphäre eintritt. Endlich habe ich die Untersuchung auf verschieden enge Kapillaren ausgedehnt.

Die Versuche wurden begonnen im physikalischen Institut der Universität Strassburg auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. F. Kohlrausch, fortgesetzt und beendigt im elektrotechnischen Laboratorium der technischen Hochschule Dresden, woselbst mir Herr Prof. Dr. Fr. Stenger vielfach mit Rath und That zur Seite stand. Ich benutze die Gelegenheit, um beiden Herren meinen Dank für ihre mir zu Theil gewordene Unterstützung auszusprechen.

I. Apparat.

Zur Untersuchung kamen nacheinander drei verschieden weite Kapillaren:

Nummer	Innerer Querschnitt q	Innerer Durchmesser d	Quecksilberwiderstand w
I	0,61 *qmm*	0,88 *mm*	0,96 *Ohm*
II	0,15 „	0,44 „	2,9 „
III	0,057 „	0,27 „	6,8 „

Mit Verwendung jeder dieser Kapillaren wurde nach Vorversuchen, die ich übergehe, schliesslich ein gleich zu beschreibender Apparat aus Glas zusammengeblasen, der ermöglichen sollte, folgende Operationen vorzunehmen: 1. Einfüllung von Quecksilber auf „gewöhnliche“ Weise. 2. Herstellung eines Vakuum über dem eingefüllten Quecksilber. 3. Befreiung des zu benutzenden Quecksilbers von Luft und Destillation desselben im Vakuum. 4. Einfüllung destillirten Quecksilbers im Vakuum. 5. Wiederherstellung des Atmosphärendrucks über dem Quecksilber.

Der Apparat hatte folgende Gestalt (s. Fig. 2). Die Kapillare C wurde zu einer Spirale[1]) gebogen, um bequemer mit ihr hantiren zu können; die Axe derselben war vertikal, und sie mündete mit ihren der Axe parallelen Enden in je ein etwa 1,5 bis 2 *cm* weites Rohr AB, welches zur Aufnahme der Elektroden diente. Als solche waren — entsprechend der gewählten Widerstandsmessmethode (s. u.) — je zwei Platindrähte über einander eingeschmolzen, von einander bezw. von der Mündung der Kapillare 1 bis 2 *cm* entfernt. Das Rohr B ging nach oben in ein mit Hahn versehenes Rohr über, so dass es nach Belieben abgesperrt werden oder mit der Atmosphäre kommuniziren konnte. Das Rohr A erweiterte sich 2 *cm* über den Platindrähten soviel, dass es bei horizontaler Lage in dieser Ausweitung D das ganze für die Füllung gebrauchte Quecksilber vor dem Einlaufenlassen in die Kapillare aufnehmen konnte. D stand durch eine horizontal umgebogene Röhre R_1 von 6 bis 8 *mm* Weite mit einem Kolben K in Verbindung, in welchem das Quecksilber ausgekocht und aus welchem es nach D überdestillirt werden sollte. Deshalb war über R_1 ein Wasserkühler W mittels Korkpfropfen geschoben. Von R_1 zweigte sich, ebenfalls horizontal, seitlich ein Rohr R_2 ab, welches in den inneren Theil eines Glasschliffes endigte. Durch R_2 wurde das Quecksilber in den Apparat gebracht, und zwar nach Bedürfniss in den Kolben K oder in das Reservoir D. Der Schliff diente dazu, den Apparat an eine Kundt'sche Glasfeder und vermittels dieser an eine Töpler-Hagen'sche Quecksilberluftpumpe anzuschliessen. Die Glasfeder besass noch einen seitlichen Ansatz mit Hahn, um nach Abschluss der Luftpumpe die Luft von dieser Seite in den Apparat eintreten lassen zu können, wenn das Quecksilber die Kapillare anfüllte; von der anderen Seite trat gleichzeitig die Luft durch den Hahn von B ein. Wenn der Hahn der Glasfeder mit dem von B durch einen Druckschlauch verbunden wurde, konnte bei gefüllter Kapillare die Luft gleichzeitig in A und B über dem Quecksilber ausgepumpt werden.

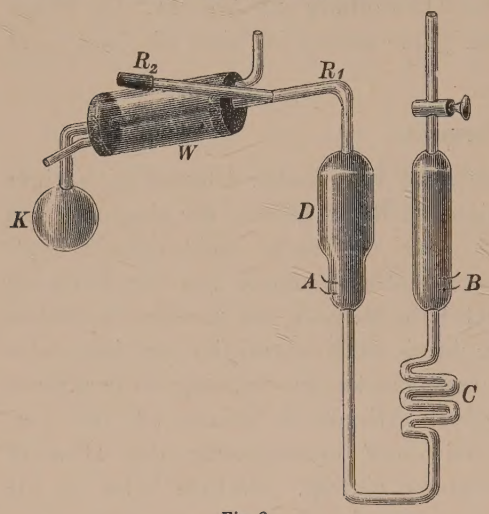

Fig. 2.

II. Widerstandsmessung.

Da der vorstehend beschriebene Apparat nur mit Platinelektroden verwendet werden konnte, bei diesen aber der Uebergangswiderstand zum Quecksilber ziemlich gross und nicht konstant ist, so musste eine Methode der Widerstandsbestimmung angewandt werden, bei welcher der Einfluss der Uebergangswiderstände verschwindet oder doch so klein gemacht werden kann, dass dadurch keine merklichen Fehler zu fürchten sind. Es wurde deshalb bei den Vorversuchen in Strassburg die Methode des übergreifenden Nebenschlusses von F. Kohlrausch

[1]) Anmerkung: Bei dieser Gestalt der Kapillare kann, wenn innerhalb evakuirt ist, der äussere Luftdruck ausser der Verringerung des inneren Querschnitts auch eine Verbiegung hervorrufen. Auch hierdurch könnte eine Widerstandsänderung der in der Kapillare befindlichen Quecksilbersäule eintreten. Ich habe mich aber durch Versuche überzeugt, dass selbst ziemlich beträchtliche Verbiegungen eine merkliche Widerstandsänderung nicht ergeben.

angewandt. Leider stand zu den definitiven Versuchen in Dresden ein geeignetes Differentialgalvanometer nicht zur Verfügung, wohl aber ein Thomson'sches Galvanometer von hoher Empfindlichkeit, und es wurde deshalb zur Methode der Thomson'schen Brücke übergegangen (s. Fig. 3).

Vor die Stromquelle E, einen Akkumulator, wurde bei den verschiedenen Kapillaren ein Widerstand W von 10, 20, bezw. 45 *Ohm* vorgeschaltet; hierdurch wurde erreicht, dass selbst bei längerem Stromschluss eine Veränderung des Widerstandsverhältnisses durch Erwärmung nicht merkbar wurde. Das benutzte Thomson'sche Galvanometer von Elliot Brothers hatte eine sehr hohe Empfindlichkeit, so dass es an diesem nicht lag, wenn die Genauigkeit der Messung nicht noch über 0,001% gesteigert werden konnte.

Zu jeder der Kapillaren H wurde ein besonderer Vergleichswiderstand N auf eine Holzrolle aus altem Holz aufgewickelt, zu I aus Nickelin (Temperaturkoëffizient = 0,00016), zu II und III aus Nickelmangankupfer (Temperaturkoëffizient $< 0{,}00001$). N war ein wenig grösser — um etwa 0,5% bei der Beobachtungstemperatur — als der Quecksilberwiderstand H, so dass durch Parallelschaltung eines grossen Rheostatenwiderstandes S eine völlige Abgleichung erzielt werden konnte. Die Vergleichswiderstände zeigten, wenn auch keine absolute, so doch hinreichende Konstanz, da nur gefordert wurde, dass sie im Laufe eines Beobachtungstages sich nicht änderten. Dies wurde regelmässig kontrolirt durch Wiederholung der letzten Messung am folgenden Tage; es war einige Mal nöthig, die Messungsresultate zu verwerfen, da N sich über Nacht merklich geändert hatte. Die Aenderung war am stärksten bei dem Vergleichswiderstand aus Nickelin; doch auch die Widerstände aus Nickelmangankupfer zeigten sich, trotz vorhergegangener Erwärmung auf 100°, nicht ganz konstant. Dies war wohl darauf zurückzuführen, dass die Verlöthung mit den dicken kupfernen Zuleitungsdrähten nicht hart ausgeführt wurde, weil die Gelegenheit dazu fehlte. Im Rheostaten S, der mit der erforderlichen Genauigkeit kalibrirt war, waren so hohe Widerstände erforderlich, dass die Temperaturkorrektion selten die Beobachtungsfehler überstieg.

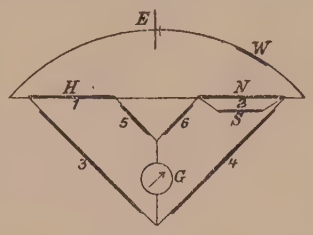

Fig. 3.

Die Widerstände N und H wurden in ein gemeinsames Petroleumbad eingehängt und die Messung erst dann gemacht, wenn nach längerem Rühren zwei in dasselbe eingetauchte, in Zehntel-Grad getheilte Normalthermometer auf mindestens 0,03° übereinstimmten; dann konnte aus der Annahme des Mittels ihrer Ablesung als gemeinsame Temperatur ein Fehler von höchstens 0,002% im Widerstande entstehen. Da aber N im Falle der Kapillaren II und III einen viel kleineren Temperaturkoëffizienten hatte als H, so wurde bei diesen nur die Ablesung des nahe bei H befindlichen Thermometers zur Temperaturbestimmung benutzt; dadurch wurde der begangene Fehler noch kleiner, da die Ablesungen vor und nach der Widerstandsbestimmung selten um mehr als 0,01° differirten. Die Kalibrirung der Thermometer zeigte, dass die Kaliberfehler die Ablesungsfehler nicht überstiegen.

Durch besondere Vorversuche wurde zwischen nicht zu weiten Grenzen die Veränderlichkeit der Differenz $D = N - H$ mit der Temperatur, der „relative Temperaturkoëffizient", bestimmt, während die Hauptversuche möglichst nahe bei der Mitteltemperatur dieser Bestimmung ausgeführt wurden. So z. B. wurde bei

Kapillare III der relative Temperaturkoëffizient zwischen 14°,5 und 19°,6 bestimmt, während die Hauptversuche in der Nähe von 17° ausgeführt wurden und kein Versuch unter 15°,5 oder über 18°,5.

Die Widerstände 3 und 4 der Thomson'schen Brücke bestanden aus einem bifilar gewickelten Nickelmangankupferdraht von im Ganzen 91,5 *Ohm*. Von der bis auf 0,002% genau bestimmten Mitte desselben war die Zuleitung zum Galvanometer abgezweigt. Die Rolle war in einen Kasten voll Paraffin gebettet.

Die Widerstände 5 und 6 betrugen je 100 *Ohm*.

Mit Berücksichtigung aller Korrektionen war die Messung nach der beschriebenen Methode so genau, dass die Beobachtungsfehler einer einzelnen Bestimmung immer unter 0,002% lagen. Da immer mindestens zwei Beobachtungen hintereinander gemacht wurden, und wenn dieselben nicht innerhalb 0,001% übereinstimmten, drei oder vier, so wird das Mittel aus denselben auf 0,001% zuverlässig sein.

Die Berechnung des Widerstandes aus dem beobachteten Nebenschluss S ergab sich sehr bequem und rasch auf folgende Weise. Die Differenz $D = N - H$ wurde berechnet nach der Formel:

$$H = \frac{NS}{N+S}; \quad H(D+H+S) = (H+D)\,S; \quad D = \frac{H^2}{S-H}.$$

H war vorher auf etwa 0,1% genau bestimmt worden, und der Werth von H^2 wurde für die in Betracht kommenden Temperaturen tabellarisch aufgetragen unter Annahme des Temperaturkoëffizienten $\alpha = 0{,}00090$ für Quecksilber. D wurde dann vermittels des vorher bestimmten relativen Temperaturkoëffizienten auf eine bestimmte Mitteltemperatur reduzirt. Ein Beispiel (Kapillare III) mag diese Rechnung erläutern:

S		t_H	t_N	$t_S = 20°$	
1774 *Ohm*	vor	17°,42	17°,435	$lg\,(H_t^2) = 1{,}6729$	$D_{17°} = 0{,}02915$
	nach	17,43	17,44	$lg\,(S-H) = 3{,}2473$	
				$lg\,D_{17°,425} = 0{,}4256 - 2$	
				$D_{17°,425} = 0{,}02664$	

$$+ 0{,}00591^*)\,(17°{,}425 - 17°{,}00) = 0{,}00251.$$

*) 0,00591 ist der oben definirte relative Temperaturkoëffizient.

III. Verlauf der Versuche.

Der oben beschriebene Apparat wurde gereinigt unter folgeweiser Anwendung von: 1. $K_2 Cr_2 O_7$ mit Schwefelsäure im heissen Zustande, nach dem Vorgange von Lenz[1]) und neuerdings der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt[2]). (Dies wurde bei Kapillare I noch nicht angewandt.) 2. Konzentrirte Salpetersäure. 3. Kalilauge. 4. Destillirtes Wasser in mehrmaliger Wiederholung.

Dann wurde der Apparat getrocknet, indem durch Baumwolle filtrirte Zimmerluft durchgesaugt wurde unter Erwärmung einzelner Theile des Apparates, namentlich der Kapillare. Es wurde absichtlich die durchgesaugte Luft nicht vorher getrocknet, um zu sehen, ob auch ohne diese Vorsichtsmaassregel die Trocknung befriedigend durchgeführt werden konnte. Der Kolben K wurde durch

[1]) R. Lenz. *Études électrométrologiques I. S. 38.*

[2]) St. Lindeck. *Ueber eine Herstellung von Normalquecksilberwiderständen. Diese Zeitschr. 1891. S. 180.*

oftmaliges Auspumpen unter Erwärmung und Wiedereinlassen von trockner Luft getrocknet.

Dann wurde Quecksilber, welches nach dem Bezuge aus der Fabrik längere Zeit unter häufigem Schütteln unter etwa 10prozentiger Salpetersäure gestanden hatte und dann mit Wasser gewaschen und bei 150° in offener Schale getrocknet war, einfiltrirt, so dass es sich in D ansammelte. Es folgte eine „gewöhnliche" Füllung: der Apparat wurde langsam aufgerichtet, bis das Quecksilber durch die Kapillare nach B floss. Durch Saugen an der Wasserstrahlpumpe wurde die Herstellung gleichen Niveaus in A und B beschleunigt. Das Niveau stand gewöhnlich etwa 1 *cm* hoch über dem obersten Platindraht; doch wurde durch Versuche konstatirt, dass eine Veränderung des Widerstandes kaum zu bemerken war, wenn einmal die Platindrähte nur eben überdeckt waren, das andere Mal das Quecksilber mehrere Zentimeter hoch darüber stand.

Nun wurde der Widerstand gemessen. Bei Anwendung der Kapillare III wurde auch eine Verminderung des Luftdrucks ausgeführt, um aus der Grösse der dabei eintretenden Widerstandsänderung einen Schluss auf die Exaktheit der Füllung machen zu können.

Nach der Messung des Widerstandes wurde durch Ansaugen der Luft aus A vermittels der Wasserstrahlpumpe alles Quecksilber aus B und C nach A geschafft. Hierbei durfte nur mit mässiger Druckerniedrigung gesaugt werden, weil bei zu schnellem Ausfliessen des Quecksilbers aus der Kapillare leicht Tröpfchen in derselben stecken blieben; es wurde auch noch die Vorsicht angewandt, beim Ausfliessen des Quecksilbers den Apparat so zu neigen, dass das letzte Ende des Quecksilberfadens überall von oben nach unten floss. Auf diese Weise konnte jedes Steckenbleiben von Quecksilbertröpfchen in der Kapillare vermieden werden, ein Zeichen für die gute Reinigung der Röhre.

Das Quecksilber wurde nunmehr nach K gebracht, und man schritt zur Untersuchung im Vakuum. Der Apparat wurde an die Quecksilberluftpumpe angeschlossen und hatte dabei die Stellung, dass R_2 wie gewöhnlich horizontal lag, aber K, statt seitlich von A, B, C, nach unten kam, also der Apparat um R_2 als Axe um 90° verdreht war. Gestützt wurde der Apparat wie immer nur durch Einspannen des Kühlers W in ein Stativ. Die Luft wurde zunächst bis zu einem Druck von höchstens 0,1 *mm* Quecksilbersäule verdünnt; der Druck wurde aus dem Grössenverhältniss der die Pumpe unter Atmosphärendruck verlassenden Luftblase zum Inhalt des Pumpenreservoirs geschätzt. Dann wurde das Quecksilber so lange zum Sieden erhitzt, bis keine Luftblasen an der Gefässwand mehr sichtbar waren. Dabei funktionirte der Kühler W. Nun wurde weiter evakuirt, der Apparat um R_2 als Axe um 180° zurückgedreht, so dass K nach oben kam. In dieser Stellung des Apparates wurde das Quecksilber aus K nach D überdestillirt. Erst nachdem dies geschehen war, nach Verlauf von etwa drei Stunden nach dem Anschluss an die Pumpe, war es möglich, die Evakuirung vollkommen durchzuführen bis auf etwa 0,001 *mm* Quecksilberdruck, also etwa ein Millionstel des Atmosphärendrucks; denn die Luft brauchte namentlich bei der engsten Kapillare so viel Zeit, um aus B durch die Kapillare zur Pumpe zu wandern.

Nach der Erreichung des möglichst vollkommenen Vakuums wurde der Apparat wieder in seine Normallage zurückgedreht, so dass das Quecksilber durch die Kapillare nach B floss. Nach geraumer Zeit (bei Kapillare III über eine Stunde) war das Niveau in A und B so weit gleich, dass zur Widerstandsbestimmung

geschritten werden konnte. Es wurde eine Messung gemacht, während im Apparat noch das Vakuum herrschte; dann wurden die Hähne gleichzeitig geöffnet, so dass der Atmosphärendruck über dem Quecksilber wiederhergestellt wurde, und die Widerstandsbestimmung wiederholt.

Hiermit war der Versuch eigentlich beendigt. Doch wurde noch eine Kontrolbestimmung gemacht, indem das Quecksilber aus der Kapillare ausgesaugt und in „gewöhnlicher" Füllung wieder durchgeschickt wurde. Die jetzt vorgenommene Widerstandsbestimmung musste das gleiche Resultat geben wie die erste der ganzen Versuchsreihe.

Um noch grössere Sicherheit zu erlangen, wurde mit jeder Kapillare auch ein Versuch in etwas abgeänderter Form angestellt. Es wurde sofort das Quecksilber nach *K* eingefüllt und der Apparat an die Luftpumpe angeschlossen.

Ausser den anderen beschriebenen Manipulationen wurde aber noch die Kapillare vermittels eines Bunsenbrenners stückweise auf so hohe Temperatur erhitzt, dass die Flamme gelbe Farbe annahm. Durch diese Operation sollte die dem Glase hartnäckig anhaftende Luftschicht entfernt werden. Gleichzeitig aber trat eine Deformation der Röhre ein, die den Widerstand gegen früher veränderte; deshalb wurde auf eine Widerstandsbestimmung vor der Evakuirung verzichtet. Die zum Schluss vorzunehmende „gewöhnliche" Füllung wurde nicht unmittelbar nach dem Aussaugen des Quecksilbers aus der Kapillare ausgeführt, sondern der Luft möglichst Zeit gegeben, sich wieder an das Glas anzusetzen. Der Apparat wurde längere Zeit der Luft ausgesetzt, zum Theil unter Durchsaugen eines Stromes von Zimmerluft. Hierbei wurde wieder absichtlich die Luft vor dem Eintritt in den Apparat nicht getrocknet, um den etwaigen Einfluss einer Wasserhaut am Glase zu entdecken. Schliesslich wurde auch noch stark mit Luft geschütteltes Quecksilber in den so gelüfteten Apparat untersucht. Die für eine Versuchsreihe erforderliche Zeit betrug ein bis anderthalb Tage.

IV. Beobachtungsresultate.

a. Kapillare I.

$q = 0{,}61\ qmm$; $d = 0{,}88\ mm$; $w = 0{,}96\ Ohm$.

Mit der Kapillare I waren die schon erwähnten Vorversuche angestellt worden. Bei diesen fehlte an dem Apparat der Kolben *K*, und es wurde demgemäss das Quecksilber, welches sich während des Evakuirens in *D* befand, nicht durch Auskochen von Luft befreit. Es wurden dieselben Resultate erhalten wie später; ich will dieselben aber, weil die Versuche nicht mit derselben Sorgfalt angestellt waren, nicht anführen.

Es wurden zwei definitive Versuchsreihen ausgeführt, deren Ergebnisse in folgender kleinen Tabelle enthalten sind:

	1. Versuch $D_{14{,}00}$	2. Versuch Röhre erhitzt $D_{16{,}00}$
Gewöhnliche Füllung vor dem Evakuiren	0,00641	—
Füllung im Vakuum, über dem *Hg* Druck 0	639	0,00497
„ „ „ „ „ *Hg* Atmosphärendruck	6415	500
Gewöhnliche Füllung nachher	640	4995

Die Versuche zeigen, dass ein Einfluss der Einfüllungsart nicht hervortritt. Die geringen Differenzen der ersten Versuchsreihe lassen sich dadurch erklären, dass die Kapillare schon vor Beginn der eigentlichen Versuche oftmals neu gefüllt worden war, um zu sehen, ob sich Uebereinstimmung bei den verschiedenen Füllungen zeigte. Dadurch können Verunreinigungen der Röhre entstanden sein. Ausserdem wurde bei dem ersten Versuch die oben angegebene Vorsicht noch nicht gebraucht, dass das Quecksilber langsam aus der Kapillare ausgesaugt wurde; deshalb stimmten die einzelnen Füllungen auch nicht überein, es zeigten sich Abweichungen bis 0,02%; der angegebene Werth 0,00641 ist der für die erste, also beste Füllung erhaltene. Dieser stimmt mit dem im Vakuum erhaltenen sehr gut überein, während der nachher durch „gewöhnliche" Füllung erhaltene ein wenig grösser ist. Doch sind die Differenzen so klein — 0,002% — dass ich nicht für nöthig hielt, die erste Versuchsreihe zu verwerfen. Später wurden derartige häufige Umfüllungen nicht mehr vorgenommen, weil die Gefahr dabei zu gross ist, die Röhre zu verunreinigen.

Bei Verringerung des Druckes über dem Quecksilber nimmt hier der Widerstand um etwa 0,003% zu, entsprechend den Resultaten von Barus (siehe Anm. 1 auf S. 269).

b. Kapillare II.

$q = 0{,}15\ qmm$; $d = 0{,}44\ mm$; $w = 2{,}9\ Ohm$.

Auch hier zeigte sich kein Einfluss der Füllungsart, wie die drei angeführten Versuchsreihen beweisen. In der Tabelle, welche die Resultate angiebt, ist die Grösse $D/2{,}9$ eingetragen, um Zahlen zu erhalten, die mit denen der Tabelle für Kapillare I vergleichbar sind.

	1. Versuch	2. Versuch Röhre erhitzt	3. Versuch
Gewöhnliche Füllung vor der Evakuirung	0,00481	—	0,00450
Füllung im Vakuum, über *Hg* Druck 0	474	0,00441	444
„ „ „ „ *Hg* Atmosphärendruck .	481	447	449; 450*)
Gewöhnliche Füllung nachher	—	446	449
2. gewöhnliche Füllung, mit Luft geschütteltes *Hg*	—	445**)	—

*) Zwischen den zu beiden Zahlen führenden Beobachtungen liegt eine Nacht.

**) Beim Entleeren vor der zweiten Füllung waren Quecksilbertröpfchen in der Kapillare zurückgeblieben.

Bei den Versuchen mit Kapillare II erscheint die Vergrösserung des Widerstandes, die der Verringerung des Druckes über dem Quecksilber um eine Atmosphäre entspricht, etwas grösser als bei Kapillare I, nämlich im mittleren Betrage von 0,006%. Einen Grund für diese Abweichung kann ich nicht angeben.

c. Kapillare III.

$q = 0{,}057\ qmm$; $d = 0{,}27\ mm$; $w = 6{,}8\ Ohm$.

Die Kapillare III hat ein etwas kleineres Kaliber wie die von Lenz benutzten Röhren. Da bei so engen Röhren viel leichter ein Füllungsfehler vorkommen kann, der, wenn nicht rechtzeitig bemerkt, einen grossen Zeitverlust verursacht, so wurde die Vorsichtsmaassregel angewandt, nach jeder „gewöhnlichen" Füllung den Druck über dem Quecksilber zu erniedrigen. Hierbei kam es auf Erzielung einer absoluten Luftleere nicht an, da das Quecksilber in der Kapillare

sich doch immer noch unter einem mittleren Druck einer 6 *cm* hohen Quecksilbersäule befand. Es wurde auf diese Weise einmal ein grober Füllungsfehler konstatirt, indem die Leitung nach Verringerung des Druckes plötzlich aufhörte. Es zeigte sich denn auch bei näherer Besichtigung, dass an der Stelle, wo die Leitung unterbrochen war, ein schwarzes Körnchen sass.

In der folgenden Tabelle, welche die erhaltenen Resultate angiebt, ist $D/w = D/6{,}8$ eingetragen, um den früheren Versuchen relativ gleiche Zahlen mitzutheilen.

	1. Versuch		2. Versuch Röhre erhitzt		3. Versuch	
Druck über dem *Hg* in Atmosphären	0	1	0	1	0	1
Gewöhnliche Füllung vor dem Evakuiren	0,00405	430	—	—	0,00422	426
Füllung im Vakuum	427	{430*) 432	0,00415	418	421	425
Gewöhnliche Füllung nachher	403	428	414	418	420	424
2. gewöhnliche Füllung, *Hg* mit Luft geschüttelt .	—	—	413	418	—	—

*) Zwischen der ersten und zweiten Messung liegt eine Nacht.

Bei dem ersten Versuch lassen die verhältnissmässig grossen Aenderungen des Widerstandes (0,025%), die eintreten, wenn nach einer „gewöhnlichen" Füllung über dem Quecksilber evakuirt wurde, darauf schliessen, dass irgend etwas nicht in Ordnung war. Da bei Atmosphärendruck alle Füllungen einen nahe übereinstimmenden Widerstand geben, so sieht man, wie leicht sich kleine Unregelmässigkeiten in der Füllung erkennen lassen, selbst wenn sie bei gewöhnlichem Druck überhaupt nicht bemerkbar sind.

Andererseits zeigen die beiden andern Versuche, dass es auch gelingt, „gewöhnliche" Füllungen nach guter Reinigung und Trocknung des Apparates so gut herzustellen, dass die Verringerung des Druckes nur diejenige Vergrösserung des Widerstandes hervorruft, die von dem Quecksilber selbst herrührt. Der umgekehrte Schluss dürfte auch erlaubt sein: Wenn durch Verringerung des Druckes eine Vergrösserung des Widerstandes nur um ungefähr 0,003% sich ergiebt, dann ist die Füllung als tadellos anzusehen.

Die Versuche mit Kapillare III zeigen also auch keinen Einfluss der Füllungsart auf den Widerstand des Quecksilbers. Die Versuche zeigen ausserdem wie bei I die Vergrösserung des Widerstandes um ungefähr 0,003% bei Verringerung des Druckes. Also ist es wohl nur irgend welchen Versuchsfehlern zuzuschreiben, wenn bei den Versuchen mit Kapillare II die Vergrösserung des Widerstandes bei geringem Druck zu 0,006% statt 0,003% gefunden wurde. Vielleicht war bei allen drei Versuchen die Kapillare II durch ein winziges Körnchen elastischen, schlecht leitenden Materials verunreinigt, das sich bei der Druckverminderung ausdehnte.

d. Versuche über Aenderung des Widerstandes durch vorhergegangene Erwärmung auf 100°.

Mit der Kapillare III wurde auch zweimal bei einer „gewöhnlichen" Füllung nach der ersten Widerstandsmessung die Erwärmung auf 100° vorgenommen, indem man die Röhre eine halbe Stunde lang in siedendes Wasser stellte. Beide Male zeigte sich nach der Abkühlung nur eine Aenderung des Widerstandes um 0,001%

und zwar das eine Mal positiv, das andere Mal negativ. Damit ist bewiesen, dass eine gute „gewöhnliche“ Füllung die Erwärmung auf 100° ebenso gut verträgt wie eine im Vakuum hergestellte.

V. Zusammenstellung der Resultate.

Aus den vorstehend beschriebenen Versuchen geht hervor, mit einer Genauigkeit von 0,001% für Kapillaren bis hinab zu 0,3 *mm* innerer Weite:

1. Es ist ein Unterschied im Widerstand einer mit Quecksilber angefüllten Kapillare nicht zu konstatiren, wenn dieselbe einmal mit völlig luftfreiem destillirtem Quecksilber im Vakuum gefüllt wird, das andere Mal unter Zutritt von Luft mit gewöhnlichem reinem, trockenem Quecksilber, das auch mit Luft geschüttelt sein kann. Auch ist es nicht nöthig, beim Trocknen der Kapillare die durchgesaugte Luft vor dem Eintritt in die Röhre durch Trockenapparate zu leiten.

2. Ebenso hat die Füllung im Vakuum vor der „gewöhnlichen“ nichts voraus in Bezug auf Konstanz des Widerstandes nach vorhergegangener Erwärmung bis zu 100°.

3. Barus hatte für grosse Druckänderungen die auf 1 Atmosphäre berechnete Abnahme des Widerstandes des Quecksilbers von 0,003% gefunden. Meine Versuche zeigen, dass für kleine Druckänderungen ungefähr derselbe Werth gilt.

4. Eine Erniedrigung des Druckes über dem Quecksilber giebt in der Grösse der dabei auftretenden Widerstandsänderung ein ausgezeichnetes Kriterium für die Güte der Füllung.

Curriculum vitae des Martin Laas.

Ich, Martin Heinrich Ernst Laas, bin geboren zu Berlin am 16. August 1868, als Sohn des damaligen Gymnasialoberlehrers Dr. Ernst Laas. Meine Ausbildung genoss ich in Strassburg im Elsass, wohin mein Vater Ostern 1872 als ordentlicher Professor der Philosophie an der Universität berufen wurde und Juli 1885 in dieser Stellung starb. Nachdem ich Juli 1886 die Gymnasialabtheilung des Lyceums zu Strassburg absolvirt hatte, bezog ich die Universität Strassburg und studirte an derselben zunächst Philosophie, dann Mathematik, Physik und Chemie bis Ostern 1891, mit Ausnahme des Wintersemesters 1889/90, während dessen ich die Universität Berlin besuchte. Ich hörte in Strassburg hauptsächlich Vorlesungen der Herren Christoffel, Cohn, Fittig, Hallwachs, Kohlrausch, Krazer, Reye, Schering, Wiener, in Berlin Vorlesungen der Herren Fuchs, v. Helmholtz, Kundt, Planck.

Seit 1. Februar 1891 bin ich Assistent am elektrotechnischen Laboratorium der technischen Hochschule Dresden.